

В. М. Грабовый, В. Д. Куцоконь

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ: БАЗОВАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА

Описано энергосиловое оборудование, используемое в технологии электрогидроимпульсной обработки жидкого металла волноводом электроразрядного генератора упругих колебаний. Такой подход разграничивает области практического применения электрогидроимпульсной обработки при решении некоторых проблем металлургии и литейного производства на предразливочной стадии.

Ключевые слова: электрогидроимпульсная обработка, энергосиловое оборудование, электроразрядный генератор.

Описано енергосилове устаткування, яке використовується в технології електрогідроімпульсної обробки рідкого металу хвилеводом електророзрядного генератора пружних коливань. Такий підхід розмежує області практичного застосування електрогідроімпульсної обробки при вирішенні деяких проблем металургії і ливарного виробництва на передрозливній стадії.

Ключові слова: електрогідроімпульсна обробка, енергосилове устаткування, електророзливний генератор.

The description of the electric power equipment which is used in the technology of elektrohydroimpulse treatment of melt by a waveguide of the electropulse generator of elastic vibrations is executed. Such approach differentiates the practical application domains of elektrohydroimpulse treatment of melt are described of some problems of metallurgy and casting production on a before casting.

Keywords: elektrohydroimpulsna treatment, tntrgosilovo equipment, electro-bit generator.

Введение

Сегодня ряд проблем повышения качества литого металла может быть решен путем использования технологии электрогидроимпульсной обработки (ЭГИО) расплава на предразливочной стадии [1-6]. Такой процесс отличается многофакторностью, многовариантностью и взаимной обусловленностью его составляющих или подпроцессов, что затрудняет выбор области его практического использования. Отметим, что практика показала бесперспективность механического переноса технологического оборудования, энергетической части или параметров обработки используемых, например, для Fe-C сплавов – на Al-Si сплавы.

Выделение нерешенной части проблемы. Ударно-волновое воздействие при ЭГИО – это эффективный способ воздействия на расплав. Структуру реальных сплавов, подвергнутых ЭГИО, можно представить как сложную иерархическую систему, по отношению к которой применимы законы структурной подчиненности и функциональной дифференциации от макро- до атомарного уровня. Внешние параметры, формирующие структуру, оказывают влияние на жидкое состояние и двухфазную зону, что проявляется во внутренних структурно-кинетических изменениях от расплава до отливки, рис. 1. Для того чтобы технология ЭГИО расплава была эффективной, необходимо формировать энергосиловые параметры воздействия в определенных пределах. Влиять нужно на все структурные уровни, обозначенные на рис. 1. Причем, степень такого воздействия напрямую связана с особенностями электрической схемы генератора импульсов тока (ГИТ) и конструкцией электроразрядного генератора упругих колебаний (ЭРГУК).

В ранее опубликованных работах энергетическое оборудование для ЭГИО не рас-

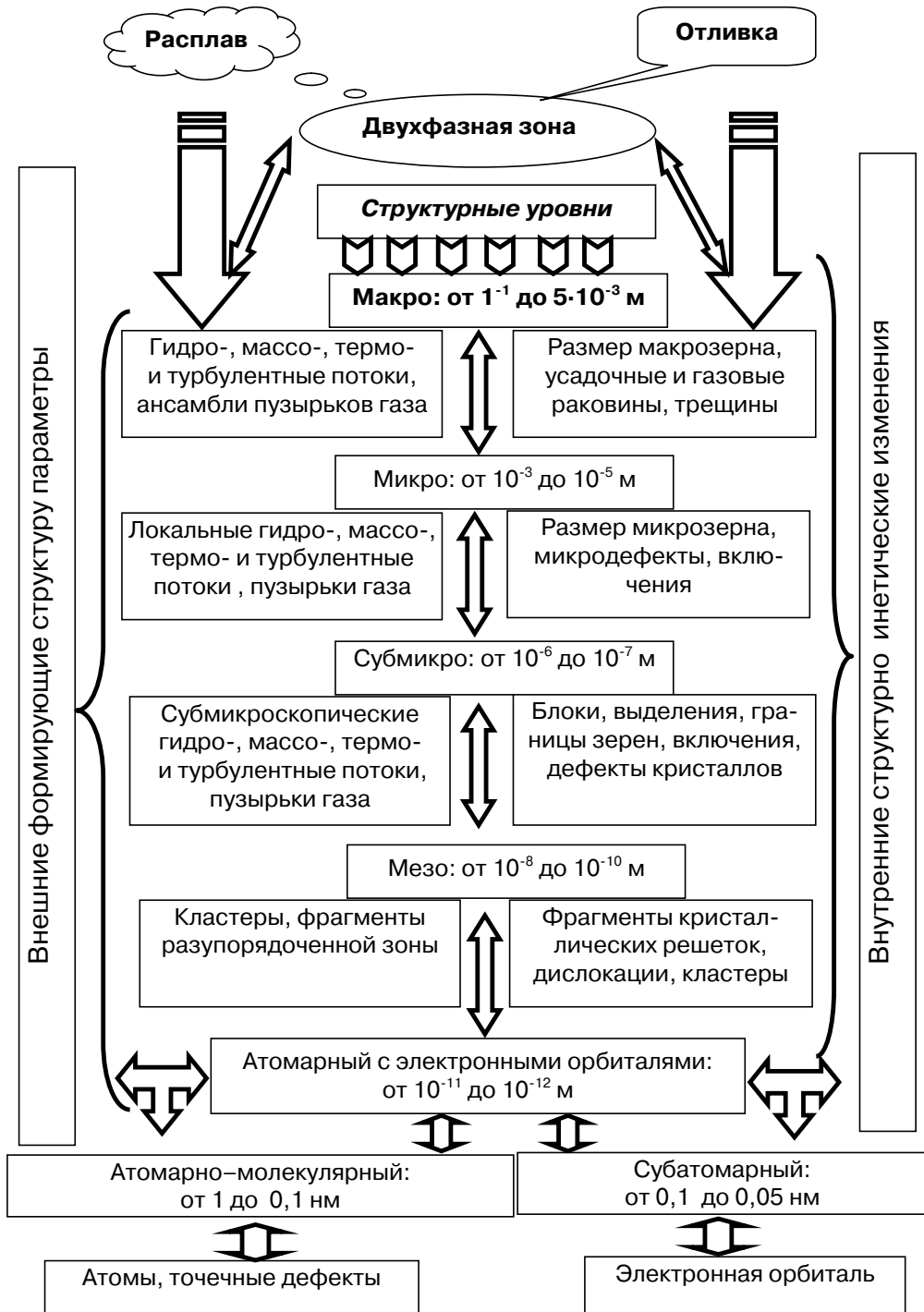


Рис. 1. Функциональная дифференциация в иерархии структурных уровней

сматривалось. Вместе с тем, системное его описание, в первую очередь, позволяет оптимизировать выбор режима нагружения. Учитывая то, что результаты электрогидроимпульсного ударно-волнового нагружения расплава весьма многообразны, такой подход разграничит области практического применения различных генераторов импульсов тока (основы энергетического оборудования) для осуществления технологии ЭГИО при решении некоторых проблем предразливочной подготовки

Получение и обработка расплавов

расплава в металлургии и литейном производстве. Целью работы является описание энергетического оборудования, используемого при ЭГИО жидкого металла.

Анализ ситуации. Прежде всего отметим, что нагружение металлического расплава при ЭГИО может осуществляться по общей схеме, приведенной на рис. 2. Причем, вариаций комплексирования схем ЭГИО с другими приемами обработки расплава существенно больше, чем приведено на рис. 2.

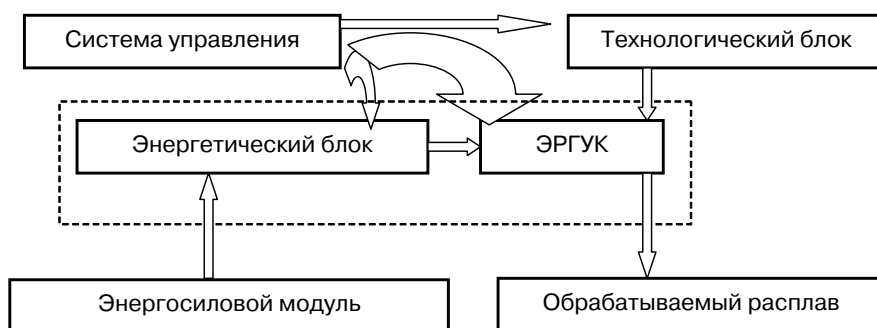


Рис. 2. Общая схема обработки: ЭРГУК – электроразрядный генератор упругих колебаний

Основу технологического оборудования для ЭГИО составляет энергосиловая система, основными элементами которой являются энергетическое (высоковольтное) оборудование и ЭРГУК, обеспечивающие заданный режим воздействия и его эффективность. Поэтому в составе оборудования для ЭГИО расплава представляет интерес рассмотреть базовую электрическую схему, которая лежит в основе описываемой технологии, рис 3.

Здесь условно не показан технологический блок, который служит средством достижения, как минимум, трех целей: фиксации ЭРГУК волноводного типа на заданном уровне; введению волновода ЭРГУК в расплав для формирования поля давления в нем; выведению волновода ЭРГУК из расплава после завершения ЭГИО.

Базовая электрическая схема состоит из пяти основных блоков, рис. 3: пульт управления (ПУ); щит силовой (ЩС); генератор импульсных токов (ГИТ); электроразрядный генератор упругих колебаний (ЭРГУК); система водоснабжения (СВ) ЭРГУК с насосом (Н), баком, водопроводом.

Структурная схема системы управления энергосиловым модулем приведена на рис. 4. Она включает модуль ПУ (переносной, стационарный или встроенный в ЩС), ЩС (с автоматами, магнитными пускателями, реле, электроизмерительными приборами и т. д.). Модуль (ПУ+ЩС) предназначен для выполнения заданной программы реализации технологии ЭГИО. Он обеспечивает выполнение всех технологических операций, связанных с ЭГИО расплава, – это контроль и фиксация установки ЭРГУК в позицию обработки расплава, включение продувки высоковольтного разрядника в ГИТ, погружение волновода ЭРГУК в расплав и др.

ГИТ является основным энергетическим блоком в технологии ЭГИО расплава. Рассмотрим функционирование его отдельных элементов. Обозначим факторы, учет которых обязателен при его проектировании [7]:

- высоковольтное оборудование представляет собой сложную многоконтурную систему с различными уровнями частот, токов, напряжений;
- ключевые элементы должны быть рассчитаны с учетом действия всех факторов по вышеприведенному пункту;
- влияние силового контура на менее энергоемкий (например, проблема электромагнитной совместимости с ПУ);
- эксплуатация в условиях повышенной запыленности литейных участков и высоких температур;

Получение и обработка расплавов

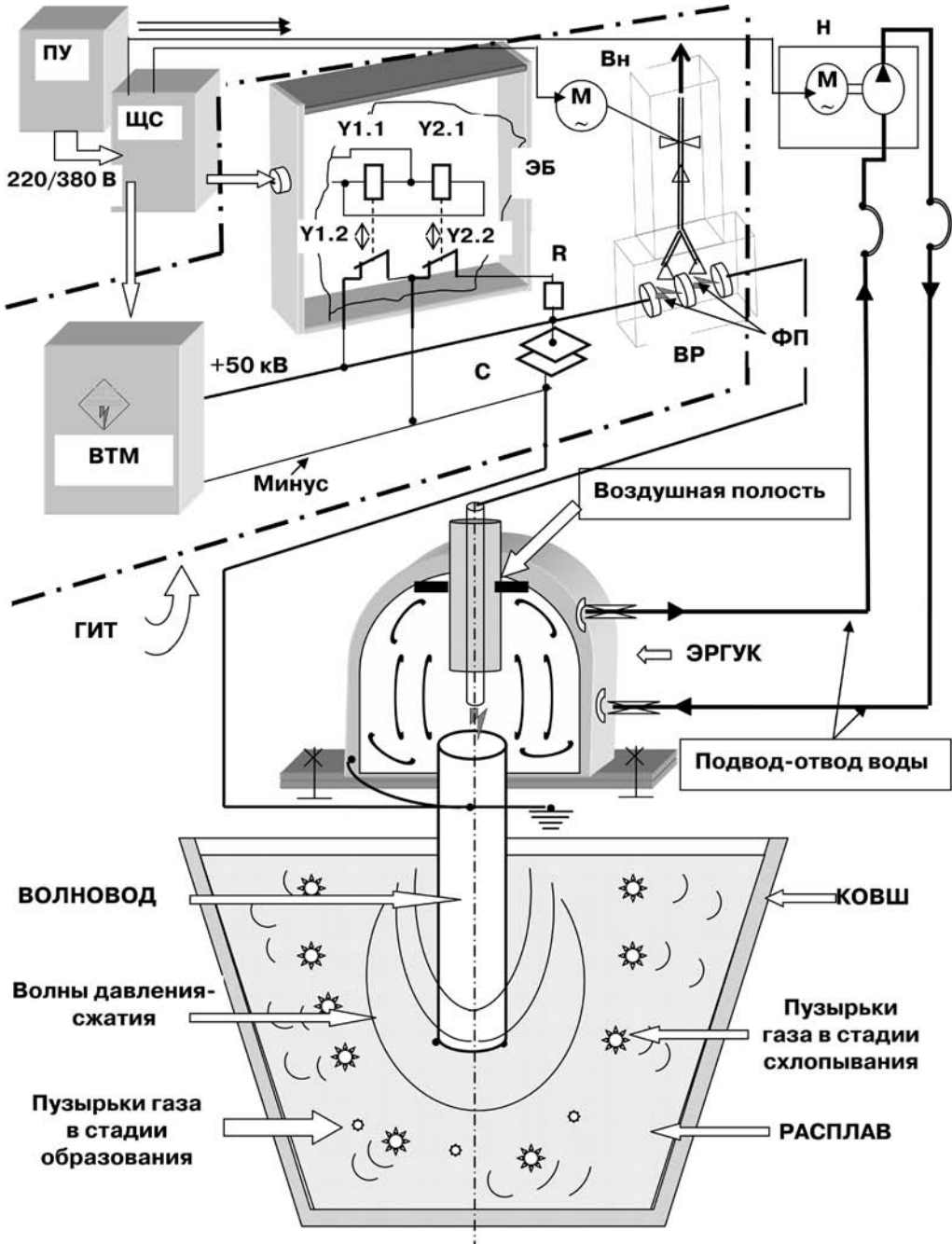


Рис. 3. Базовая электросхема и оборудование при ЭГИО расплава: ПУ – пульт управления; ЩС – щит силовой; ГИТ – генератор импульсов тока; Вн – вентилятор; Н – насос; ВТМ – высоковольтный трансформатор масляный; С – емкость накопительной батареи; ВР – высоковольтный разрядник; ЭБ – электроблокировка; М – электродвигатель; R – токоограничивающий резистор; Y – электромагниты

– необходимость перемещения высоковольтного оборудования в пределах литейного цеха и др.

ГИТ состоит из четырех основных блоков (рис. 3): высоковольтного трансформатора-выпрямителя (ВТМ), батареи высоковольтных конденсаторов (С); высоковольтного коммутационно-защитного блока (электроблокировка ЭБ); высоковольтного разрядника (ВР). ВТМ осуществляет заряд емкости накопителя энер-

Получение и обработка расплавов

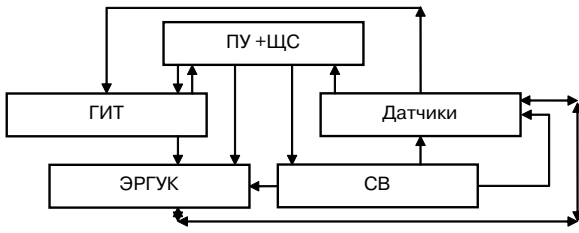


Рис. 4. Структурная схема системы управления энергосиловым модулем

гии (С) до величины напряжения заряда, требуемой технологическим процессом. Напряжение от 20 до 50 кВ регулируется формирующим промежуток (ФП) разрядника (ВР). Зазор между торами (ВР) устанавливается в зависимости от требуемого пробивного напряжения из соотношения 1 мм на каждые 3 кВ. В ИИПТ НАН Украины разработаны, изготовлены и входят в состав ГИТ несколько типов ВТМ, табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры ВТМ

Обозначение ВТМ	Число фаз	Номинальная мощность, кВА	Выпрямленное напряжение, кВ
ОМТВ 5/25	1	5	25
ОМТВ 5/45	1	5	45
ОМТВ 5/50	1	5	50
Блок зарядный ГИТ40.01.000-01	3	66	50
Блок зарядный ГИТ40.01.000-03	3	33	50
КВТМ 40/50	3	40	50
КВТМ 80/50	3	80	50

В качестве накопителей электрической энергии в ГИТ используются высоковольтные импульсные конденсаторы третьего поколения (ИК-50-05, ИК50-1), разработанные в ИИПТ НАН Украины. Они имеют высокие удельные энергетические характеристики и соответствуют мировому уровню. Сравним между собой конденсаторы модели 37330 фирмы "Максвелл" (США) с номинальным напряжением $U_n = 50$ кВ и средним ресурсом 10^8 зарядов-разрядов и конденсатор ИК50-05, разработанный ИИПТ НАН Украины [8]. Первый из них имеет удельную запасаемую энергию по объему 29 Дж/дм³ и по массе 0,023 Дж/г, а второй – 28,2 Дж/дм³ и 0,02 Дж/г соответственно. Более полные данные для сравнения приведены в табл. 2

Высоковольтный коммутационно-защитный блок (электроблокировка ЭБ, рис. 3) реализует функцию безопасной эксплуатации батареи емкостных накопителей и должен соответствовать следующим требованиям:

- обеспечивать надежное замыкание батареи емкостных накопителей при отключении ГИТ;

Таблица 2. Технические характеристики конденсаторов ($U_n = 50$ кВ)

Страна, фирма	Тип, модель	Емкость, мкФ	Удельная энергия		Средний ресурс, зарядов-разрядов
			по объему, Дж/дм ³	по массе, Дж/г	
США, Сан-Диего "Максвелл"	37330	0,1	29	0,023	10^8
Украина, ИИПТ НАН	ИК-50-05	0,5	28,2	0,02	10^8
	ИК-50-1	1,0	56,2	0,04	$1,5 \cdot 10^7$
Россия, Серпухов, ОАО СКЗ "Квар"	ИК-50-1,35, УХЛ4	1,35	25,5	0,015	10^7

Получение и обработка расплавов

- плавно сниматься при включении ГИТ с неподвижных контактов, которые подключены к выводам батареи конденсаторов;
- электроблокировка должна самопроизвольно сработать и замкнуть батарею емкостных накопителей накоротко при аварийном отключении питания;
- закорочивание должно производиться в два этапа с выдержкой по времени замыкания (которое равно $t_{\text{зак}} \geq 3\tau$, где $\tau = RC$): сначала замыкание должно быть проведено на токоограничивающий резистор R (рис. 3), затем накоротко;
- питание приводов электроблокировки после окончания работы ГИТ должно автоматически выключаться, а их закоротки замыкают неподвижные контакты с целью снятия остаточного напряжения с батареи емкостных накопителей (C).

Электроблокировка (ЭБ) работает следующим образом, рис. 3: когда установка находится в нерабочем состоянии, электромагниты $Y1.1$ и $Y2.1$ обесточены и нормализованный контакт $Y1.2$ накоротко замыкает выводы конденсаторной батареи. Контакт $Y2.2$ замыкает их через токоограничивающий резистор R . При включении ГИТ питание подается на катушки электромагнитов, якоря втягиваются. В результате контакты блокировки $Y1.2$ и $Y2.2$, механически связанные с якорями электромагнитов, размыкаются и начинается процесс зарядки батареи конденсаторов (C). Катушки электромагнитов при плановом или аварийном отключении установки обесточиваются. Конструктивно ЭБ сделана так, что первой движется штанга электромагнита $Y2.1$, которая замыкает неподвижные контакты, разряжая конденсаторную батарею на токоограничивающий резистор (R). Далее, с запаздыванием, движется вторая штанга и контактом $Y2.2$ накоротко замыкает контакты батареи конденсаторов.

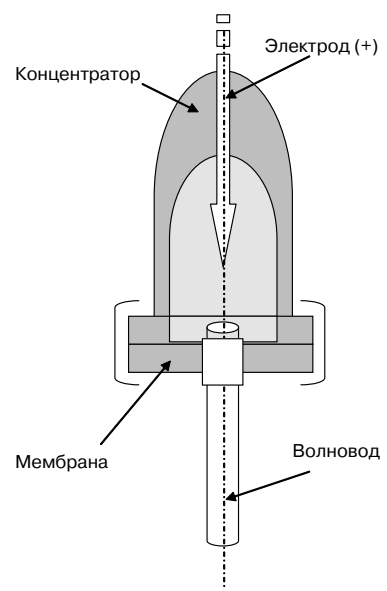
Высоковольтный разрядник (ВР) служит для коммутации больших импульсных токов и передачи электрической энергии, накопленной конденсаторной батареей, на специальные электродные системы в ЭРГУК, рис. 3. Для ГИТ с частотой следования разрядов от 3 до 16 Гц оптимальным является двухззорный воздушно-искровой разрядник, имеющий достаточно высокий потенциал гашения дуги. Разрядник снабжается вытяжной вентиляцией, обеспечивающей восстановление свойств разрядного промежутка (РП) рис. 3.

В состав энергосилового модуля (кроме ГИТ) входят ЭРГУК и датчики. Датчики контролируют подготовку пуска и пуск ГИТ, наличие прокачки ЭРГУК водой, уровень погружения волновода ЭРГУК в расплав и др. В качестве датчиков положения используются путевые конечные выключатели, которые срабатывают при достижении упоров, установленных в требуемых местах.

ЭРГУК является источником возмущений при ЭГИО. В общем случае он представляет собой разрядную камеру, заполненную рабочей жидкостью, табл. 3.

Воздействие на жидкий или кристаллизующийся металл осуществляется посредством передачи акустических волн через упругую мембрану

Таблица 3. Схема разрядной камеры

Модель установки	Схема разрядной камеры
УВ 4, УВ 3, УВ 5, УВ 10, УВ 12	 <p>ЭРГУК мембранного типа с волноводом и концентратором в верхней части, концентратором вверх</p>

Получение и обработка расплавов

или упруго-подвижный элемент – мембрану с волноводом. Разрядная камера выполнена в виде толстостенного цилиндра с жестким верхним и упругим нижним основаниями. Между электродом, расположенным на оси камеры, и упругим основанием происходит электрический разряд. При этом в рабочей жидкости камеры возникает волна давления, которая деформирует нижнее основание. В свою очередь, нижнее основание передает энергию волноводу, погруженному в ковш с расплавом. Таким образом, возмущения от волновода генерируют в жидком металле нестационарное поле давлений, которое формирует в расплаве физические процессы, оказывающие положительное воздействие на качество структуры отливок.

В табл. 4 приведены основные технические характеристики установок для ЭГИО расплава, в которых использованы описанные выше элементы оборудования.

Таблица 4. Технические характеристики установок для ЭГИО расплава

Модель	Масса расплава, т	Время обработки, мин	Время между работками, мин	Частота следования импульсов, Гц	Энергия в импульсе, кДж	Потребляемая ГИТ мощность, кВА	Удельные энергозатраты, кВт·ч/т
УВ 3	5	10	не регламентировано	2	5	30	0,78
УВ 4	25	10	не регламентировано	4; 8; 16	2,5; 5; 10	40	0,9
УВ 9	2-6	5	30	2-16	2,5; 5	66	0,77
УВ 10	9-16	5	60	8;16	2,5; 5	66	0,61
УВ 5	90	10	не регламентировано	10	5	220	0,87
УВ 12	5-9	5	60	8	2,5	66	1,1

В табл. 5 представлены данные по результатам ЭГИО расплава с использованием описанного выше энергетического оборудования в сравнении с другими способами обработки.

Таблица 5. Сравнение методов обработки алюминиевого сплава АК9

Способ обработки	Пористость, балл	σ_v , МПа	δ , %	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч / т
Ультразвук	2-3	156	5,0	60
Флюс	3-4	165	5,0	-
Вакуумирование	1-2	250	4,0	70
ЭГИО	1-2	180	4,0	2

Примечание: при проведении расчетов в качестве источников информации использовались: [10, 11] – обработка ультразвуком, [10, 12] – обработка флюсом, [13, 14] – вакуумирование, [9] – технико-коммерческие предложения ИИПТ НАН Украины (для ЭГИО)

Таким образом, на примере базовой электрической схемы для электрогидроимпульсной обработки расплава описаны элементы энергосилового оборудования, обеспечивающего управляющее воздействие в системе “запасаемая энергия ГИТ ($W_0 = C \cdot U_0^2/2$) – интенсивность воздействия ($f \cdot t_{\text{эгио}}$) на расплав – доля энергии,

выделившейся в первый полупериод разрядного тока (через величину разрядного промежутка), – структурные уровни объекта обработки”. Следует отметить, что в настоящее время получила развитие разработка технологического оборудования для обработки расплава волноводом ЭРГУК, отличающегося пониженными массо-габаритными показателями.

Выводы

Выполнено описание энергосилового оборудования, используемого в технологии электрогидроимпульсной обработки жидкого металла волноводом электроразрядного генератора упругих колебаний. Такой подход разграничивает области практического применения электрогидроимпульсной обработки при решении некоторых проблем металлургии и литейного производства на предразливочной стадии.



Список литературы

1. *Грабовый В. М.* Описание подходов к выбору технологии электрогидроимпульсной подготовки расплава к разливке // Процессы литья. – 2008. – № 5. – С. 21-29.
2. *Грабовый В. М.* Наукові і технологічні основи електрогідроімпульсної дії на структуру і властивості виливків із сплавів на основі заліза і алюмінію: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Киев, 2007. – 42 с.
3. *Сінчук А. В.* Підвищення якості литого металу методом електрогідроімпульсної обробки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 2007. – 21 с.
4. *Дубоделов В. И.* Многофункциональный технологический модуль как инструмент повышения качества отливок. // Литейн. пр-во. – 2006. – № 6. – С. 33-36.
5. *В. Н. Цуркин В. М.* Грабовый Импульсные электротехнические устройства для обработки металла на предразливочной стадии в литейном производстве // Литейное производство на рубеже столетий: тез докл конференции ФТИМС НАН Украины (Киев, 2-6 июня, 2003 г.). – Киев, 2003. – С. 18-21.
6. *Цуркин В. Н., Грабовый В. М.* Оценка эффективности внешнего физического воздействия на расплав // Процессы литья. – 2003. – № 10. – С. 29–31.
7. *Вовк И. Т., Вовченко А. И., Мирошниченко Л. Н.* Тенденции развития силового высоковольтного оборудования для ЭГИ технологий // Техническая электродинамика. – 2002. – № 2. – С. 63–67.
8. *Онищенко Л. И.* Оценка достигнутого уровня в области создания высоковольтных импульсных конденсаторов с высокой удельной запасаемой энергией // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Матер. XI Международной научной школы-семинара. – Николаев: Атолл, 2003. – С. 130-132.
9. *Федченко Н. А.* Підвищення якості сплавів на основі алюмінію шляхом використання електрогідроімпульсної обробки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Харків, 2002. – 16 с.
10. *Альтман М. Б., Стромская Н. П.* Повышение свойств стандартных литейных алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1984. – 127 с.
11. *Добаткин В. И., Эскин Г.Л.* Ультразвуковая обработка расплава цветных сплавов // Воздействие мощного ультразвука на межфазную поверхность металлов. – М.: Наука, 1986. – С. 3-56.
12. Универсальный флюс для модифицирования и рафинирования алюминиево-кремниевых сплавов / М. Б. Альтман, М. Я. Телис, А. П. Полянский, В. В. Меркулов. – М.: ИТЭИН, 1957. – 200 с.
13. Вакуумирование алюминиевых сплавов / М. Б. Альтман, Е. Б. Готов, В. А. Засыпкин, Г. С. Макаров. – М.: Металлургия, 1977. – 240 с.
14. *Фриндлярдер И. Н.* Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. – М.: Металлургия, 1970. – 270 с.

Поступила 24.11.2009